

## Активность пероксидазы как маркер процесса биосинтеза лигноуглеводной матрицы хвойных растений

Зубов И.Н., Хвиузов С.С., Гусакова М.А., Боголицын К.Г.

ИЭПС УрО РАН, Набережная Северной Двины 23, Архангельск. Факс: 8 (8182) 28-76-36;  
тел: 8 (8182) 28-76-88; E-mail: wizard904@pochta.ru

Проведен химический анализ древесины можжевельника – представительного специфического и малоизученного биообъекта зоны тундры и северной тайги. Определен параметр активности пероксидазы хвои можжевельника, по методике адаптированной для растительного сырья. Выявлен схожий характер зависимости возрастной изменчивости содержания лигнина и параметра активности пероксидазы хвои от возраста древесины.

### Введение

За длительный период эволюции, в результате самоорганизации и естественного отбора, природой создана чрезвычайно сложная многокомпонентная полимерная композиция – древесина, представляющая собой наиболее масштабное естественно возобновляемое природное сырье и источник ценнейших химических компонентов широкого спектра назначения.

Древесина представляет собой композицию полисахаридов (целлюлоза и гемицеллюлозы) и ароматического полифункционального биополимера нерегулярного строения (лигнин)<sup>1,2</sup>.

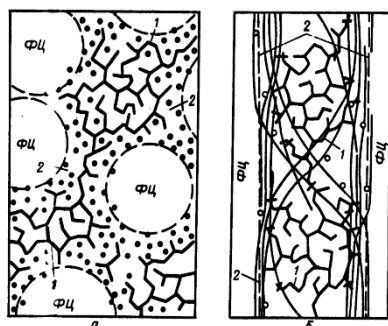


Рис. 1. Схема строения клеточной стенки древесного вещества по Эринишу: а – поперечный срез, б – продольный срез; (ФЦ – фибриллы целлюлозы, 1 – лигнин, 2 – гемицеллюлозы)

По степени изученности надмолекулярной организации, структуры и свойств отдельных компонентов древесной матрицы целлюлоза и гемицеллюлозы значительно превосходят лигнинную составляющую. По-видимому, это обусловлено сложностью объекта, вследствие неупорядоченности его химической структуры, а также отсутствием неразрушающих методов выделения лигнина из древесины.

Образование макромолекул лигнина в растении (лигнификация) представляет собой систему сложных биологических, биохимических и химических процессов.

По современным представлениям процесс биосинтеза лигнина включает два принципиально различных этапа:

- синтез первичных мономерных предшественников лигнина – монолигнолов;
- полимеризацию монолигнолов, протекающую по радикальному механизму и приводящую к образованию макромолекул и формированию конденсированной фазы лигнина в клеточных оболочках и межклеточном пространстве.

Вероятно, что полимеризация монолигнолов протекает по механизму реакции полирекомбинации, открытой в Институте элементоорганических соединений. Первый этап реакции в этом случае – дегидрирование мономерного соединения. Получающиеся на этой стадии радикалы связываются друг с другом, образуя димеры. На следующей стадии димеры превращаются в свободные радикалы, при рекомбинации которых образуются тетрамеры и т.д. Для реализации реакции полирекомбинации требуется наличие пероксидных соединений. Полимеризация монолигнолов может быть связана с дегидрирующей способностью двух ферментативных систем – на основе пероксидазы или лакказы. Оба фермента в присутствии кислорода обладают способностью окислять фенольные соединения, до фенольных радикалов, но в отличие от лакказы, пероксидаза широко распространена в высших растениях<sup>1</sup>.

Большую часть лесных ресурсов России составляют хвойные породы. Европейский Север в этом плане, не является исключением (около 82 % - хвойные породы). Это дает возможность по хвое определять не только состояние окружающей среды в целом, но и оценивать и прогнозировать состояние самих деревьев.

Согласно общепринятому представлению, основной функцией пероксидазы является защита организма от вредного действия перекисей. Субстраты пероксидазы являются интермедиатами различных метаболических цепей, что позволяет рассматривать данный фермент как один из ключевых, изменение физико-химических свойств которого существенно влияет на метаболизм растительного организма.

Активирование пероксидазы под влиянием неблагоприятных воздействий – характерная ответная реакция растений, обеспечивающая нормальный ход окислительных процессов<sup>3</sup>.

Многие авторы сходятся в возможности использования показателя активности пероксидазы в качестве диагностического признака состояния растений.

Для пероксидазы доказано ее участие в образовании ауксина и этилена, восстановлении нитратов и нитритов, т.е. в азотном обмене, ростовых и дыхательных процессах<sup>4</sup>. В присутствии пероксидазы регулируется созревание и старение тканей, а также синтез лигнина, входящего в состав клеточных стенок. Возможно, физиолого-биохимическая роль пероксидазы клеточной стенки заключается в разрушении ИУК, которая может изменять физиологическое состояние клетки<sup>4</sup>.

### Экспериментальная часть

На основе анализа ландшафтно-геологических факторов были выбраны тестовые площадки отбора образцов древостоя можжевельника (*Juniperus communis* L.) как наименее изученного, реликтового представителя хвойных пород тундровой и северотаежной зоны Европейского Севера России (Архангельской области).

В ходе экспедиционных работ были отобраны образцы древесины возрастом от 60 до 140 лет и хвоя. Материалом для дендрохронологического анализа послужили поперечные спилы у корневой шейки стволиков можжевельника. Анализ компонентного состава древесины проводился по стандартным методикам<sup>5</sup>.

Для оценки параметра активности пероксидазы хвои методика<sup>6</sup> была доработана и адаптирована для растительного сырья.

Активность пероксидазы хвои определяли при 25 °С по скорости окисления 1,5 мМ гваякола ("Sigma") ... мМ пероксидом водорода в среде 0,1 М калий-фосфатного буфера (pH 7.0) при  $\lambda$  440 нм на УФ-спектрофотометре (Shimadzu UV-1800).

### Результаты и обсуждение

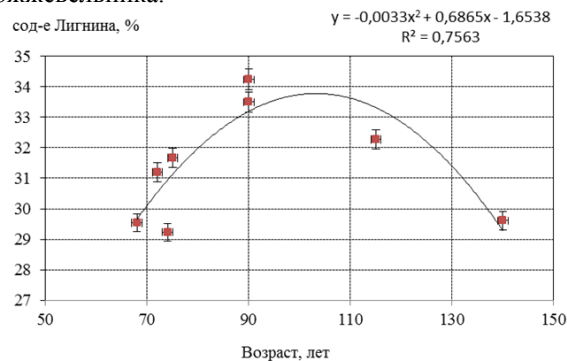
Химический состав древесины можжевельника и других хвойных и лиственных лесобразующих пород Европейского Севера России по литературным данным середины 20 века представлены в таблице 1.

**Табл. 1.** Содержание основных компонентов в древесине различных видов<sup>2</sup>

Вид древесины	Лигнин Класона, %	Целлюлоза, %
Ель	27,0 – 29,6	46,1 – 52,4
Сосна	27,4 – 36,5	51,4 – 51,9
Береза	19,5 – 23,8	31 – 45,8
Дуб	22,5	37,1
Можжевельник	21,7 (35,18)	40,8
Можжевельник эксперимент 2010 г.	29,23 – 34,24	36,44 – 42,77

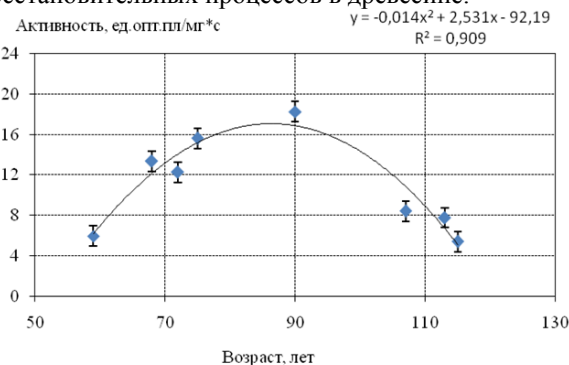
Из таблицы 1 видно, что древесина можжевельника отличается пониженным содержанием основных компонентов, характерным скорее для лиственных пород, что определяет некоторые свойства этой чрезвычайно плотной древесины.

На рис. 2 представлена зависимость изменения содержания лигнина от возраста древесины можжевельника.



**Рис. 2.** Возрастная изменчивость содержания лигнина в древесине можжевельника

Экспериментальные данные аппроксимированы уравнением полинома второй степени. Пик в области 90 – 100 лет вероятнее всего связан с перераспределением роли окислительно-восстановительных процессов в древесине.



**Рис. 3.** Возрастная изменчивость параметра активности пероксидазы хвои можжевельника

Изменение активности пероксидазы хвои (рисунок 3) имеет схожий характер, что позволяет предположить о тесной взаимосвязи активности фермента пероксидазы и процесса биосинтеза лигнина.

### Библиографический список

- 1 Боголицын К. Г., В.В. Лунин, Д.С. Косяков и др. Физическая химия лигнина.. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2009. – 492 с.
- 2 Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. - М.-Л.: АН СССР, 1962. – 711 с.
- 3 Алексеев В.Г., Кершенгольц Б.М., Попов А.А. О характере изменения свойств пероксидазы при адаптации растений к экстремальным условиям Севера // Физиология растений. 1983. №6. С. 1094-1101.
- 4 Андреева, В. А. Фермент пероксидаза: Участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. 128 с.

**МАТЕРИАЛЫ XIV МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

- 5 Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.Л. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- 6 Bergmeyer H.U. Methods of Enzymatic Analysis // I Academic Press New York, 2nd Edition, 1974. 495 p.